

***DERECHO* JAKO PRZYKŁAD SILNYCH ZJAWISK ANEMOLOGICZNYCH – DOTYCHCZASOWY STAN BADAŃ**

Daniel Celiński-Mysław

***Derecho* as an example of severe anemological phenomena – the present state of research**

Abstract: The aim of the paper is to review the state of research on the phenomenon of *derecho*, with particular emphasis on studies conducted in Europe and on the American continent. The paper presents different approaches to the identification criteria of *derecho*. The structure and conditions for its formation were characterized. Long-term studies on the multi-annual occurrence of *derecho* on both continents were described. The presented review of literature led to the conclusion that there are still many opportunities to study mesoscale convective systems which cause *derecho* on the European continent.

Keywords: *derecho*, mesoscale convective systems, severe anemological phenomena

Zarys treści: Celem opracowania jest przegląd dotychczasowego stanu badań nad zjawiskiem *derecho* ze szczególnym uwzględnieniem badań prowadzonych w Europie i na kontynencie amerykańskim. W pracy przedstawiono różne podejścia do kryteriów identyfikacji *derecho*, scharakteryzowano strukturę oraz warunki sprzyjające jego powstawaniu. Opisano badania dotyczące wieloletniego występowania *derecho* na obu kontynentach. W wyniku przedstawionego przeglądu piśmiennictwa stwierdzono, że istnieje jeszcze szerokie pole do badań mezoskalowych układów konwekcyjnych wywołujących *derecho* na kontynencie europejskim.

Słowa kluczowe: *derecho*, mezoskalowe układy konwekcyjne, silne zjawiska anemologiczne

Wprowadzenie

Rozległe układy konwekcyjne są często przyczyną występowania silnych i niszczycielskich porywów wiatru. *Derecho*, które wywoływane jest działalnością mezoskalowych układów konwekcyjnych, stanowi przykład ekstremalnych zjawisk anemologicznych, występujących także w Polsce. Duży zasięg oddziaływania *derecho*, jego niszczycielski charakter oraz coraz częstsze informacje o bardzo silnych wiatrach obejmujących ogromne obszary Europy, każą się zastanowić, jakie zagrożenie ono niesie oraz jaka jest jego częstość występowania w ostatnich latach. Badania nad tym zjawiskiem, prowadzone od wielu lat na kontynencie amerykańskim, pozwoliły na sformułowanie ścisłych kryteriów jego identyfikacji. Analizy przypadków występowania *derecho* prowadzone przez amerykańskich badaczy umożliwiły także określenie warunków sprzyjających formowaniu się mezoskalowych układów konwekcyjnych je wywołujących oraz dokonanie kilku podziałów tego zjawiska.

Definicja i kryteria identyfikacji

Pojęcie *derecho* po raz pierwszy zostało użyte przez Gustavusa Hinrichsa w 1888 roku (Hinrichs 1888). Naukowiec z Uniwersytetu Iowa użył tego sformułowania do określenia długo istniejących i rozległych układów konwekcyjnych, które przynoszą silny wiatr wiejący w linii prostej i powodują ogromne szkody (porównywalne z tymi będącymi skutkiem działalności trąb powietrznych). Szerokie badania dotyczące *derecho* zaczęto jednak prowadzić dopiero w drugiej połowie XX w. Wówczas udoskonalono definicję i za *derecho* uznano wszelkie rodziny „klastrow burzowych” z silnymi prądami zstępującymi, docierającymi do powierzchni ziemi lub w jej pobliżu (*family of downburst clusters*), które spełniają określone kryteria co do ich rozległości, chronologii rozwoju oraz ciągłości czasowej i wywołują znaczne szkody (Fujita i Wakimoto 1981; Johns i Hirt 1987).

Derecho, będące przykładem ekstremalnie silnych zjawisk anemologicznych, doczekało się formalnych kryteriów identyfikacji. Pierwszymi badaczami, którzy opracowali zbiór szczegółowych warunków, jakie muszą być spełnione, aby zjawisko uznać za *derecho* byli Johns i Hirt (1987). Stworzyli oni listę 6 kryteriów niezbędnych do identyfikacji *derecho* (tab. 1). Wiele źródeł stosuje jednak tylko 4 pierwsze, m.in. Gatzen (2004), Lopez (2007), Simon i in. (2011).

Kryteria zaproponowane przez Johnsa i Hirta (1987) pod koniec XX w. i na początku XXI w. kilkakrotnie były modyfikowane. Zmiany kryteriów do celów własnych badań zaproponowali Bentley i Mote (1998), Evans i Doswell III (2001) oraz Coniglio i Stensrud (2004).

Tab. 1. Kryteria identyfikacji *derecho* według Johnsa i Hirta (1987)Table 1. Criteria used to identify *derecho* according to Johns and Hirt (1987)

Nr/No.	R. Johns i W. Hirt (1987)
1	Główna oś strefy występowania <i>derecho</i> rozciąga się na co najmniej 400 km, a w wielu punktach tej strefy porywy wiatru przekraczają $26 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (50 kt).
2	Raporty o silnym wietrze muszą się charakteryzować chronologią czasową.
3	Pomiędzy kolejnymi raportami o silnym wietrze nie może upłynąć więcej czasu niż 3 godziny.
4	W strefie oddziaływania <i>derecho</i> muszą istnieć co najmniej trzy miejsca, oddalone od siebie o 64 km lub więcej, gdzie zanotowane prędkości wiatru osiągają minimum $33 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ lub szkody nim wywołane klasyfikowane są jako co najmniej F1 w skali Fujity.
5	Mezoskalowy układ konwekcyjny (MCS – <i>mesoscale convective system</i>) wywołujący <i>derecho</i> musi charakteryzować się ciągłością czasową i przestrzenną.
6	Zniszczenia muszą być wywołane działalnością tego samego mezoskalowego układu konwekcyjnego (MCS) co weryfikowane jest na podstawie danych radarowych.

Bentley i Mote (1998) zmodyfikowali kryteria zaproponowane kilka lat wcześniej przez nieznaczące ich uproszczenie. Cel, jaki temu przyświecał, to ułatwienie analizy dużych zestawów danych. Wprowadzili oni m.in. drobne zmiany w kryterium trzecim oraz zrezygnowali z kryterium czwartego. W kryterium piątym wprowadzili ograniczenie przestrzenne dotyczące kolejnych raportów o silnym wietrze. Weryfikacja, czy zniszczenia są wynikiem działalności tego samego mezoskalowego układu konwekcyjnego odbywa się natomiast przez naniesienie danych o czasie i miejscu wystąpienia silnych porywów wiatru na mapę obszaru, a nie przez analizę danych radarowych i satelitarnych (tab. 2).

Kryteria zaproponowane przez Evansa i Doswella III (2001) w znacznym stopniu odpowiadają tym, które przedstawili Bentley i Mote (1998). Modyfikacji jednak uległo m.in. kryterium pierwsze, w którym wprowadzono dodatkowe wymagania dotyczące minimalnej rozciągłości małej osi strefy występowania *derecho*. Ważnym wymaganiem, dodatkowo zaproponowanym przez Evansa i Doswella III, jest brak związku mezoskalowego układu konwekcyjnego wywołującego *derecho* z tropikalną burzą lub huraganem (tab. 2).

Zmiany kryteriów, na potrzeby swoich badań, wprowadzili także Coniglio i Stensrud (2004). Modyfikacji uległy trzy kryteria. Kryterium trzecie i piąte są kompromisem pomiędzy tymi zaproponowanymi przez Johnsa i Hirta (1987) a kryteriami, jakie zastosowali do swoich badań Bentley i Mote (1998). Największe zmiany dotyczą kryterium czwartego, w którym Coniglio i Stensrud (2004) uwzględnili fakt, że poszczególne przypadki zjawiska *derecho* mogą znacznie różnić się intensywnością (tab. 2).

Tab. 2. Kryteria identyfikacji *derecho* według różnych autorów: Bentleya i Mote'a (1998), Evansa i Doswella III (2001) oraz Coniglio i Stensruda (2004)

Table 2. Criteria used to identify *derecho* according to different authors: Bentley and Mote (1998), Evans and Doswell III (2001) and Coniglio and Stensrud (2004)

Nr No.	M. Bentley i T. Mote (1998)	J. Evans i C. Doswell III (2001)	M. Coniglio i D. Stensrud (2004)
1	Główna oś strefy występowania <i>derecho</i> rozciąga się na co najmniej 400 km, a w wielu punktach tej strefy porywy wiatru przekraczają 26 m·s ⁻¹ .	Główna oś strefy występowania <i>derecho</i> rozciąga się na co najmniej 400 km, a mała oś na co najmniej 74 km (40 nmi – mil morskich), a w wielu punktach tej strefy porywy wiatru przekraczają 26 m·s ⁻¹ .	Główna oś strefy występowania <i>derecho</i> rozciąga się na co najmniej 400 km, a w wielu punktach tej strefy porywy wiatru przekraczają 26 m·s ⁻¹ .
2	Raporty o silnym wietrze muszą się charakteryzować chronologią czasową, która wskazuje na wpływ jednego mezoskalowego układu konwekcyjnego (MCS).		
3	Pomiędzy kolejnymi raportami o silnym wietrze nie może upłynąć więcej czasu niż 2 godziny.	Pomiędzy kolejnymi raportami o silnym wietrze nie może upłynąć więcej czasu niż 2 godziny.	Pomiędzy kolejnymi raportami o silnym wietrze nie może upłynąć więcej czasu niż 2,5 godziny.
4	Nie stosowano	Nie stosowano	Kryterium wg intensywności: – zdarzenia o „niskiej intensywności” (<i>low end</i>) – nie stosowano. – zdarzenia o średniej intensywności (<i>moderate</i>) – te same kryterium jak u Johns i Hirt (1987). – zdarzenia o „wysokiej intensywności” (<i>high end</i>) – w strefie oddziaływania <i>derecho</i> muszą istnieć co najmniej trzy miejsca, oddalone od siebie o 64 km lub więcej, gdzie zanotowane prędkości wiatru przekraczają 38 m·s ⁻¹ lub szkody wskazują na wiatr o takiej prędkości.
5	Mezoskalowy układ konwekcyjny (MCS) wywołujący <i>derecho</i> musi się charakteryzować ciągłością czasową i przestrzenną, a kolejne raporty o silnym wietrze muszą się mieścić w obszarze o rozciągłości mniejszej niż 2° szerokości i długości geograficznej.	Mezoskalowy układ konwekcyjny (MCS) wywołujący <i>derecho</i> musi się charakteryzować ciągłością czasową i przestrzenną, a pomiędzy kolejnymi raportami o silnym wietrze nie może być większa odległość niż 161 km (100 nmi).	Mezoskalowy układ konwekcyjny (MCS) wywołujący <i>derecho</i> musi się charakteryzować ciągłością czasową i przestrzenną, a pomiędzy kolejnymi raportami o silnym wietrze nie może być większa odległość niż 200 km.
6	Zniszczenia muszą być wywołane działalnością tego samego mezoskalowego układu konwekcyjnego (MCS), co weryfikowane jest przez naniesienie danych o czasie i miejscu wystąpienia silnych porywów wiatru na mapę obszaru, bez konieczności analizowania danych radarowych i satelitarnych.	Zniszczenia muszą być wywołane działalnością tego samego mezoskalowego układu konwekcyjnego (MCS) o sygnaturze liniowej, co weryfikowane jest na podstawie danych radarowych. MCS nie może być związany z tropikalną burzą lub huraganem.	Zniszczenia muszą być wywołane działalnością tego samego mezoskalowego układu konwekcyjnego (MCS), co weryfikowane jest na podstawie danych radarowych.

Struktura *derecho*

Z występowaniem *derecho* nierozdzielnie są związane mezoskalowe układy konwekcyjne, które w swojej strukturze mają segmenty przyjmujące widoczny na obrazach radarowych charakterystyczny kształt łuku tzw. *bow echo* (Johns i Hirt 1987). Termin ten po raz pierwszy zastosował Fujita (1978), dogłębnie analizując przypadki rozbudowanych układów konwekcyjnych, których kształt ewoluował, „wybrzuszał się” i przybierał postać łuku. Definiowanie *bow echo* zawarte jest w kilku znaczących dla tematu publikacjach m.in. Fujita (1978), Weisman (1993), Przybylinski (1995), Klimowski i in. (2000, 2004). Mezoskalowy układ konwekcyjny wywołujący *derecho* może zawierać jeden lub kilka segmentów *bow echo*. Każdy z nich może istnieć kilka godzin, a jego wymiary horyzontalne mogą się wahać od 20 do 120 km (Fujita 1978), przy czym maksymalne wielkości występują głównie w sezonie letnim (Przybylinski 1995; Weisman 2001). Długo istniejące *bow echo* mogą się przemieszczać nawet na kilkaset kilometrów. Gdy osiągają próg 400 km i zostają spełnione pozostałe kryteria identyfikacji, są uznawane jako *derecho*. Największe prędkości wiatru w *derecho* występują w strefach, przez które przemieszczają się układy *bow echo* (Fujita 1978).

Jak dowiódł Fujita (1978), transformacja komórki burzowej w widoczny na obrazach radarowych kształt łuku jest skutkiem istnienia silnego prądu powietrznego w tylnej części układu burzowego (*rear inflow jet* – RIJ). Prąd ten powoduje, że różne części takiej komórki poruszają się z różną prędkością. Najszybciej poruszająca się środkowa część wyprzedza skrajne, a na obrazie radarowym uwidacznia się wybrzuszenie. W tylnej części pojawia się natomiast wcięcie, które określane jest jako *rear inflow notch* – RIN. W rejonie wybrzuszenia zazwyczaj podmuchy wiatru są największe. I to właśnie w tej strefie możliwe jest powstanie tornado lub *gustnado* (*gust front tornado*) (Trapp i in. 2005).

Warunki występowania *derecho*

Początkowo badania podejmujące temat zjawisk *derecho* dotyczyły tylko sezonu ciepłego, tj. od kwietnia/maja do września (Johns i Hirt 1987; Smith 1990). Publikacje Duke’a i Rogasha (1992), Bentley’a i Mote’a (1998), Evansa i Doswella III (2001), Ashley’a i in. (2005), Gatzena i in. (2011) oraz Celińskiego-Mysław i Matuszko (2014), pokazały jednak, że *derecho* może wystąpić o każdej porze roku, w różnych warunkach środowiska.

Badania mezoskalowych układów konwekcyjnych, wywołujących *derecho*, doprowadziły do określenia warunków sprzyjających jego powstaniu (Johns i Hirt 1987; Duke i Rogash 1992; Weisman 1993; Evans i Doswell III 2001; Coniglio i Stensrud

2004; Gatzen i in. 2011; Celiński-Mysław i Matuszko 2014), a także do sformułowania kilku podziałów tego zjawiska (Johns i Hirt 1987; Evans i Doswell III 2001).

Wpływ na formowanie się rozbudowanych układów konwekcyjnych wywołujących *derecho* ma m.in. obecność silnych prądów powietrza, które powodują wzrost dynamiki procesów zachodzących w troposferze. Obecność silnego przepływu w środkowej i górnej troposferze wywołuje wzrost wartości pionowych uskoków wiatru, co jest jedną z głównych przyczyn intensyfikacji zjawisk anemologicznych. Duże wartości pionowych uskoków wiatru zapewniają dobrą separację prądu wstępującego od zstępującego i umożliwiają powstanie niszczyielskiego frontu szkwałowego w miesiącach zimowych pomimo braku chwiejnych mas powietrza lub przy bardzo małej chwiejności termodynamicznej. Dla przypadków występujących w sezonie ciepłym istotna jest także silna adwekcja gorących i wilgotnych, zwrotnikowych mas powietrza w dolnej troposferze. Dopływ powietrza cechującego się dużą chwiejnością termodynamiczną na drodze przemieszczającego się układu konwekcyjnego wzmacnia jego intensywność oraz umożliwia przemieszczenie się na znaczne odległości (Coniglio i in. 2011; Celiński-Mysław i Matuszko 2014). To zatem, jakie wartości parametrów termodynamicznych (np. CAPE) i kinematycznych (np. uskoku wiatru) lub jaka sytuacja synoptyczna sprzyjają pojawianiu się *derecho*, w znaczący sposób zależy od sezonu występowania. Modele numeryczne wykorzystane przez Weismana (1993; 2001) do zdefiniowania warunków środowiska sprzyjających powstawaniu rozbudowanych linii burz doprowadziły do wysnucia wniosku, że rozwój *derecho* jest silnie skorelowany z wysoką wartością współczynnika CAPE ($>2000 \text{ J}\cdot\text{kg}^{-1}$) (*Convective Available Potential Energy*) oraz z wystąpieniem silnych pionowych uskoków wiatru (*vertical wind shear*) w dolnej troposferze ($>20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, na wysokości 2,5–5 km) (Weisman 1993; 2001). Późniejsze badania wykazały, że w środowisku o bardzo dużej chwiejności termodynamicznej (sezon letni) *derecho* może także wystąpić przy mniejszych wartościach pionowych uskoków wiatru (Evans i Doswell III 2001; Ashley i in. 2007; Celiński-Mysław i Matuszko 2014). Udowodniono także, że w sezonie chłodnym (październik-marzec) przy dużych wartościach uskoku wiatru *derecho* może wystąpić w środowisku o znacznie mniejszej niestabilności (Bentley i Mote 2000; Evans i Doswell III 2001; Burke i Schultz 2004; Gatzen i in. 2011; Celiński-Mysław i Matuszko 2014).

Rozwojowi *derecho* oprócz wyżej wymienionych czynników sprzyja także konwergencja w dolnej troposferze w wycinku ciepłym niżu. Występowanie nad badanym obszarem stref zbieżności wiatru stwarza bowiem dogodne warunki do formowania się liniowych i wielokomórkowych układów konwekcyjnych (Johns i Hirt 1987; Mainville 1999; Evans i Doswell III 2001; Celiński-Mysław i Matuszko 2014).

Rodzaje *derecho*

W literaturze światowej istnieją dwa główne podziały zjawiska *derecho*. Pierwszy został zaproponowany przez Johnsa i Hirta (1987). Kategorie w nim wyróżnione są oparte na charakterystyce ogólnej organizacji układów konwekcyjnych, które wywołują *derecho*. Klasyfikacja ta uwzględnia strukturę *derecho* wraz z warunkami, w jakich może ono powstać. Johns i Hirt (1987) zdefiniowali w tym podziale dwa typy *derecho*: progresywne (*progressive derecho*) i seryjne (*serial derecho*), do których w późniejszym okresie dołączono typ trzeci – *derecho* hybrydowe (*hybrid derecho*) jako to, które łączy w sobie cechy dwóch pierwszych. *Derecho* progresywne wywoływane jest działalnością mezoskalowego układu konwekcyjnego, który zbudowany jest zwykle z jednej struktury *bow echo*. Układ taki zazwyczaj powstaje wzdłuż pofalowanych frontów atmosferycznych lub w strefie zbieżności wiatrów. Powstanie *derecho* progresywnego uwarunkowane jest także położeniem górnotroposferycznego prądu strumieniowego w stosunku do pofalowanego frontu atmosferycznego (zbliżone do równoległego) (ryc. 1). *Derecho* seryjne z kolei jest wynikiem działalności mezoskalowego układu konwekcyjnego z wbudowanymi co najmniej dwiema strukturami *bow echo*. Rozwija się ono zazwyczaj wzdłuż frontu chłodnego, który związany jest z głębokim i szybko przemieszczającym się ośrodkiem niskiego ciśnienia. Seryjne *derecho* występuje zwykle, gdy górnotroposferyczny prąd strumieniowy (*high-level jet*) „przecina” front chłodny (ryc. 2).

Drugi podział został opracowany przez Evansa i Doswella III (2001). Opiera się on przede wszystkim na rozróżnieniu warunków, w jakich powstają mezoskalowe układy konwekcyjne odpowiedzialne za wystąpienie *derecho*. W tym przypadku zjawisko to zostało podzielone na trzy grupy, tj. na: *derecho* ze słabym wymuszaniem (*weak forcing derecho*), *derecho* z silnym wymuszaniem (*strong forcing derecho*) oraz *derecho* hybrydowe (*hybrid derecho*). Cechą charakterystyczną *derecho* powstającego w środowisku silnego wymuszania jest bliska obecność głębokiego ośrodka niskiego ciśnienia z systemem frontów atmosferycznych. Środowisko takie sprzyja występowaniu dużych wartości uskoków wiatru i umożliwia powstanie niszczycielskiego frontu szkwałowego pomimo braku chwiejnych mas powietrza lub przy małej chwiejności termodynamicznej. W środowisku silnego wymuszania powstaje *derecho* seryjne. *Derecho* ze słabym wymuszaniem powstaje z kolei w środowisku dużej chwiejności termodynamicznej i dużego potencjału do wytwarzania prądów zstępujących. Wartości uskoków wiatru w tym typie *derecho* są znacznie mniejsze, a główną rolę odgrywają parametry termodynamiczne. *Derecho* ze słabym wymuszaniem występuje jedynie w sezonie ciepłym (od maja do sierpnia). W środowisku słabego wymuszania powstaje zazwyczaj *derecho* progresywne.

Istnieje również trzeci, mniej popularny podział *derecho*. Opiera się on na rozróżnieniu przypadków, występujących w sezonie ciepłym (*warm-season derecho* –

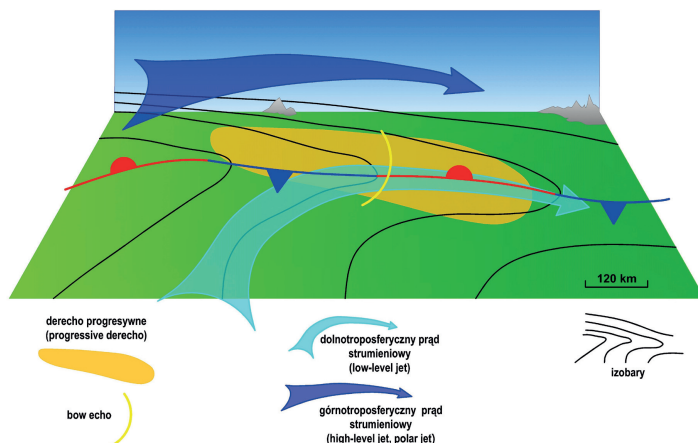
kwiecień – wrzesień), od tych występujących w „sezonie chłodnym” (*cool-season derecho* październik–marzec) (Duke i Rogash 1992; Mainville 1999).

Historia badań *derecho*

Badania klimatologiczne dotyczące powstawania i rozwoju *derecho* i *bow echo* prowadzone były głównie na terenie Stanów Zjednoczonych. Jako pierwsi wieloletnią (1980–1983) analizę występowania *derecho* przeprowadzili Johns i Hirt (1987). W późniejszym okresie Evans i Doswell III (2001) zbadali przestrzenne i czasowe aspekty występowania *derecho* w latach 1983–1993, a Bentley i Sparks (2003) rozpatrywali mezoskalowe układy konwekcyjne wywołujące *derecho* w centralnej i wschodniej części Stanów Zjednoczonych w latach 1986–2000. Wieloletnie badania podejmujące temat *derecho* i *bow echo* prowadzili na kontynencie amerykańskim także m.in. Burke i Schultz (2004), Coniglio i Stensrud (2004), Klimowski i in. (2004), Ashley i in. (2005), Adams-Selin i Johnson (2010) oraz Schoen i Ashley (2011).

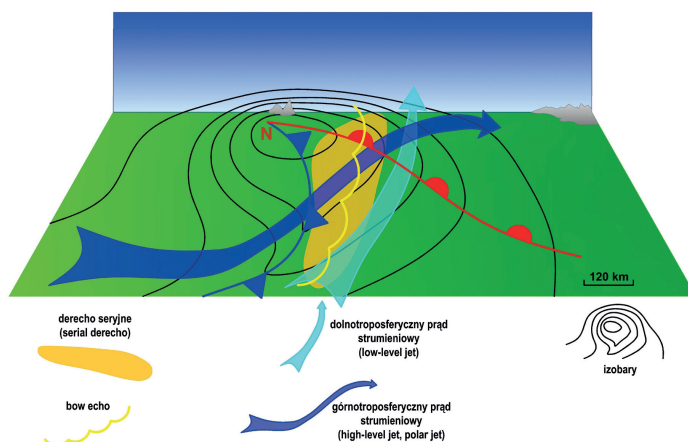
Badania obejmujące wieloletnie charakterystyki występowania *derecho* na kontynencie europejskim są znacznie mniej rozwinięte. Dominują publikacje, w których analizowane są przyczyny powstawania i rozwoju konkretnych przypadków *bow echo* i *derecho* (Schmid i in. 2000; Gatzen 2004; Punkka i in. 2006; Lopez 2007; Putsay i in. 2009; Walczakiewicz i Ostrowski 2010; Pucik i in. 2011; Simon i in. 2011; Hamid 2012). Analizy dla dłuższych okresów prowadzili Gatzen z *Institut für Physik der Atmosphäre* w Oberpfaffenhofen w Niemczech (Gatzen i in. 2011; i prezentacje dostępne na stronie *European Storm Forecast Experiment* – www.estofex.org, oraz Celiński-Mysław i Matuszko z Instytutu Geografii i Gospodarki Przestrzennej Uniwersytetu Jagiellońskiego (Celiński-Mysław i Matuszko 2014). Badania Gatzena dotyczyły występowania *derecho* w Niemczech pod koniec XX i na początku XXI w. Celiński-Mysław i Matuszko (2014) zbadali z kolei przypadki występowania *derecho* w Polsce w latach 2007–2012, analizując ich przestrzenne zróżnicowanie.

Badania przedstawione w wyżej wymienionych artykułach, zarówno te dotyczące poszczególnych przypadków, jak i te obejmujące dłuższy okres, wykazały, że występujące w Europie *derecho* charakteryzują się podobnymi cechami do tych notowanych w Stanach Zjednoczonych. Należy jednak zaznaczyć, że zazwyczaj intensywność zjawisk zarejestrowanych na kontynencie amerykańskim jest znacznie większa niż w Europie. Duża liczba artykułów publikowanych w Stanach Zjednoczonych jest niewątpliwie pochodną ilości stwierdzonych przypadków *derecho* w Ameryce. Średnio w USA co roku notowanych jest 15 takich zjawisk, podczas gdy w Europie rejestrowane są pojedyncze przypadki (Coniglio i Stensrud 2004).



Ryc. 1. Schemat przedstawiający warunki występowania *derecho* progresywnego (Johns i Hirt 1987, www.meted.ucar.edu oraz www.spc.noaa.gov)

Fig. 1. Schema showing the occurrence conditions of a progressive *derecho* (Johns and Hirt 1987, www.meted.ucar.edu and www.spc.noaa.gov)



Ryc. 2. Schemat przedstawiający warunki występowania *derecho* seryjnego (Johns i Hirt 1987, www.meted.ucar.edu oraz www.spc.noaa.gov)

Fig. 2. Schema showing the occurrence conditions of a serial *derecho* (Johns and Hirt 1987, www.meted.ucar.edu and www.spc.noaa.gov)

Badania, zarówno amerykańskich, jak i europejskich meteorologów w głównej mierze dotyczą analizy sytuacji synoptycznych sprzyjających formowaniu się mezoskalowych układów konwekcyjnych, które są bezpośrednią przyczyną wystąpienia *derecho*. Skupiają się one także na wyznaczeniu korytarzy przemieszczania się tych zjawisk, a co za tym idzie na wyznaczeniu obszarów podwyższonego ryzyka wystąpienia *derecho* (m.in. Bentley i Sparks 2003; Coniglio i in. 2004; Celiński-Mysław i Matuszko 2014). Publikacje te często ilustrują, jakie zagrożenie niesie z sobą gwałtowny wiatr, przedstawiając statystyki odnośnie do liczby ofiar i strat materialnych (Ashley i Mote 2005; Punkka i in. 2006; Fink i in. 2009).

Dotychczasowe badania wykazały, że rozciągające się nawet na kilkaset kilometrów strefy zniszczeń (1500 km – Metz i Bosart 2010; Coniglio i in. 2011; Gatzen i in. 2011; Celiński-Mysław i Matuszko 2014) mogą charakteryzować się takimi samymi spustoszeniami, jakie powstają przy przejściu trąb powietrznych o sile F0–F2, z tą tylko różnicą że wywołane są działalnością wiatru prostoliniowego, a nie wirowego (Fujita 1978; Fujita i Wakimoto 1981; Przybylinski 1995; Lopez 2007; Fink i in. 2009). Udowodniono także, że w obrębie *bow echo* mogą się tworzyć pojedyncze trąby powietrzne klasyfikowane w skali Fujity nawet jako F3–F4 (Trapp i in. 2005).

Podsumowanie

Niniejszy artykuł stanowi syntezę aktualnej wiedzy dotyczącej zjawiska *derecho*. Przedstawia publikacje na temat wieloletnich badań prowadzonych w Ameryce Północnej i Europie. Charakterystyka dotychczasowego stanu badań nad zjawiskiem *derecho* pozwoliła usystematyzować wiedzę na jego temat z uwzględnieniem różnych podejść do kryteriów identyfikacji. Zebranie publikacji na temat badań występowania *derecho* na kontynencie europejskim i amerykańskim, ukazało dużą dysproporcję w ich liczbie oraz ujawniło potrzebę kontynuacji prac badawczych nad analizą przypadków występujących w Europie. Nieliczne prace podejmujące temat *derecho* w Europie pokazały, że kontynent europejski nie jest wolny od tego zjawiska. Warto zatem prowadzić dalsze badania, wydłużając okresy obserwacji oraz obejmując nimi kolejne regiony Europy. W sytuacji braku dostępu do danych radarowych, w celu zweryfikowania kryterium szóstego identyfikacji *derecho* sugeruje się użycie kryteriów zaproponowanych przez Bentleya i Mote'a (1998, 2000) (naniesienie danych o czasie i miejscu wystąpienia silnych porywów wiatru na mapę obszaru), które pozwalają na analizowanie danych historycznych, bez konieczności posiadania danych radarowych.

Literatura

- Adams-Selin R.D., Johnson R.H., 2010, *Investigation of mesoscale surface pressure and temperature features associated with bow echoes*, Monthly Weather Review, 138, 212–227.
- Ashley W.S., Mote T.L., 2005, *Derecho hazards in the United States*, Bulletin of the American Meteorological Society, 86, 11, 1577–1592.
- Ashley W.S., Mote T.L., Bentley M.L., 2005, *On the episodic nature of derecho-producing convective systems in the United States*, International Journal of Climatology, 25, 1915–1932.
- Ashley W.S., Mote T.L., Bentley M.L., 2007, *The extensive episode of derecho-producing convective systems in the United States during May and June 1998: A multi-scale analysis and review*, Meteorological Applications, 14, 3, 227–244.
- Bentley M.L., Mote T.L. 1998, *A climatology of derecho-producing mesoscale convective systems in Central and Eastern United States, 1986–95. Part I: Temporal and spatial distribution*, Bulletin of the American Meteorological Society, 79, 11, 2527–2540.
- Bentley M.L., Mote T.L. 2000, *A synoptic climatology of cool-season derecho events*, Physical Geography, 21, 21–37.
- Bentley M.L., Sparks J.A., 2003, *A 15 yr climatology of derecho-producing mesoscale convective systems over the central and eastern United States*, Climate Research, 24, 129–139.
- Burke P.C., Schultz D.M., 2004, *A 4-yr climatology of cold-season bow echoes over the continental United States*, Weather and Forecasting, 19, 1061–1073.
- Celiński-Mysław D., Matuszko D., 2014, *An analysis of the selected cases of derecho in Poland*, Atmospheric Research, 149, 263–281.
- Coniglio M.C., Stensrud D.J., 2004, *Interpreting the climatology of derechos*, Weather and Forecasting, 19, 595–605.
- Coniglio M.C., Stensrud D.J., Richman M.B., 2004, *An observational study of derecho-producing convective systems*, Weather and Forecasting, 19, 320–337.
- Coniglio M.C., Corfidi S.F., Kain J.S., 2011, *Environment and early evolution of the 8 May 2009 derecho-producing convective system*, Monthly Weather Review, 139, 1083–1102.
- Duke J.W., Rogash J.A., 1992, *Multiscale review of development and early evolution of the 9 April 1991 derecho*, Weather and Forecasting, 7, 623–635.
- Evans J.S., Doswell III C.A., 2001, *Examination of derecho environments proximity soundings*, Weather and Forecasting, 16, 329–342.
- Fink A.H., Brücher T., Ermert V., Krüger A., Pinto J.G., 2009, *The European storm Kurill in January 2007: Synoptic evolution, meteorological impacts and some considerations with respect to climate change*, Natural Hazards and Earth System Sciences, 9, 405–423.
- Fujita T.T., 1978, *Manual of downburst identification for project NIMROD*, Satellite & Mesometeorology Research Project, The University of Chicago, 1–104.
- Fujita T.T., Wakimoto R.M., 1981, *Five scale of airflow associated with a series of downbursts on 16 July 1980*, Monthly Weather Review, 109, 1438–1456.
- Gatzen C., 2004, *A derecho in Europe: Berlin, 10 July 2002*, Weather and Forecasting, 19, 639–645.

- Gotzen C., Pucik T., Ryva D., 2011, *Two cold-season derechos in Europe*, Atmospheric Research, 100, 740–748.
- Hamid K., 2012, *Investigation of the passage of the derecho in Belgium*, Atmospheric Research, 107, 86–105.
- Hinrichs G., 1888, *Tornadoes and derechos*, American Meteorological Journal, 5, 341–349.
- Johns R., Hirt W., 1987, *Derechos: Widespread convectively induced windstorms*, Weather and Forecasting, 2, 32–49.
- Klimowski B.A., Hjelmfelt M.R., Bunkers M.J., 2004, *Radar observations of the early evolution of bow echoes*, Weather and Forecasting, 19, 727–734.
- Klimowski B.A., Przybylinski R.W., Schmocker G., Hjelmfelt M.R., 2000, *Observations of the formation and early evolution of bow echoes*, 20th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Orlando (USA), 10–16 September 2000, 44–47.
- Lopez J.M., 2007, *A mediterranean derecho: Katalonia (Spain), 17th August 2003*, Atmospheric Research, 83, 272–283.
- Mainville S., 1999, *The derecho of 4–5 July 1999 in southern Quebec*, Technical Note 99N–04, Environment Canada, Montreal WESO, 1–29.
- Metz N.D., Bosart L.F., 2010, *Derecho and MCS development, evolution, and multiscale interactions during 3–5 July 2003*, Monthly Weather Review, 138, 3048–3070.
- Przybylinski R.W., 1995, *The bow echo observations, numerical simulations and severe weather detection methods*, Weather and Forecasting, 10, 203–218.
- Pucik T., Francova M., Ryva D., Kolar M., Ronge L., 2011, *Forecasting challenges during the severe weather outbreak in Central Europe on 25 June 2008*, Atmospheric Research, 100, 680–704.
- Punkka A.-J., Teittinen J., Johns R.H., 2006, *Synoptic and mesoscale analysis of a high-latitude derecho-severe thunderstorm outbreak in Finland on 5 July 2002*, Weather and Forecasting, 21, 752–763.
- Putsay M., Szenyan I., Simon A., 2009, *Case study of mesoscale convective systems over Hungary on 29 June 2006 with satellite, radar and lighting data*, Atmospheric Research, 98, 82–92.
- Schmid W., Schiesser H., Furger M., Jenni M., 2000, *The origin of severe winds in a tornadic bow-echo storm over Northern Switzerland*, Monthly Weather Review, 128, 192–207.
- Schoen J.M., Ashley W.S., 2011, *A climatology of fatal convective wind events by storm type*, Weather and Forecasting, 26, 109–121.
- Simon A., Kanak J., Sokol A., Putsay M., Uhrinova L., Csirmaz K., Okon L., Habrovsky R., 2011, *Case study of a severe windstorm over Slovakia and Hungary on 25 June 2008*, Atmospheric Research, 100, 705–739.
- Smith B.E., 1990, *Mesoscale structure of a derecho-producing convective system: The southern great plains storm of May 4, 1989*, 16th Conference on Severe Local Storms, American Meteorological Society, Kananaskis Park (Canada), 455–460.
- Trapp R.J., Tessendorf S.A., Godfrey E.S., Brooks H.E., 2005, *Tornadoes from squall lines and bow echoes. Part I: Climatological distribution*, Weather and Forecasting, 20, 23–34.

- Walczakiewicz S., Ostrowski K., 2010, *Nawałnica z 4 VII 2002 r. jako przykład bow echo w Europie Środkowo-Wschodniej ze szczególnym uwzględnieniem burzy w Puszczy Piskiej*, Materiały Geo-Symposium Młodych Badaczy Silesia 2010, Bytom (Polska), 22–24 października 2010, 213–230.
- Weisman M.L., 1993, *The Genesis of severe, long-lived bow echoes*, Journal of the Atmospheric Sciences, 50,4, 645–670.
- Weisman M.L., 2001, *Bow echoes: A tribute to T. T. Fujita*, Bulletin of the American Meteorological Society, 82,1, 97–116.

Daniel Celiński-Mysław
Uniwersytet Jagielloński
Instytut Geografii i Gospodarki Przestrzennej
ul. Gronostajowa 7, 30-387 Kraków
e-mail: daniel.celinski.myslaw@gmail.com